

Износ образцов деталей на маслах с механическими примесями показывает увеличение износов только на рапсовом масле на 25 % по сравнению с чистым рапсовым маслом, по остальным маслам износ не изменился.

Таким образом, по результатам испытаний можно сделать вывод, что введение воды и механических примесей в масла приводит к ухудшению их трибологических свойств, при этом вода в большей степени.

Сравнение трибологических свойств чистых масел показывает, что рапсовое масло эффективно

снижает трение и температуру, но не способствует снижению износа деталей. Наиболее эффективным по снижению износа является синтетическое масло.

Добавление 3 % воды и механических примесей ведет к увеличению момента трения на 9...22 %, температуры в зоне трения — на 9...11 % и износа — на 33...50 %.

#### Список литературы

1. Коваленко, В.П. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений / В.П. Коваленко, А.А. Ильинский. — М.: Химия, 1982. — 272 с.

УДК 502/504:631.347

*А.С. Апатенко, канд. техн. наук*

Московский государственный университет природообустройства

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АГРЕГАТОВ В СОСТАВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

При выборе технических средств для выполнения различных технологических процессов и, в частности, проведения мелиоративных и строительных работ должны учитываться два аспекта: принципиальная возможность использования машин и уровень их надежности. Но если выбор технических средств по принципиальной возможности использования для выполнения конкретной операции отработан (разработаны «Системы машин», каталоги специальной техники, отраслевые справочники с техническими характеристиками машин и механизмов и т. п.), то выбор средств ремонтно-технического воздействия в зависимости от их количественных данных и характеристики надежности научно недостаточно обоснован.

Анализ данных по эксплуатации технических средств в мелиоративно-строительных организациях показывает, что из-за низкой надежности машин до 40 % в себестоимости их работ составляют затраты на техническое обслуживание и ремонт, при этом доля затрат на простои по техническим причинам в общем фонде рабочего времени достигает 40...50 % [1].

Совершенствование методов использования машин привело к созданию механизированных комплексов и групповой форме работ машин, при этом остановка одной машины технологического комплекса приводит к остановке всего технологического процесса, особенно ситуация усложняется, если принять во внимание, что агрегат состоит из двух машин (базовой (трактор) и агрегируемой (орудие)), по-разному влияющих на показатели надежности всего агрегата.

Анализ причин возникновения характерных технических отказов агрегатов КТК показал, что большая часть отказов (около 70 %) связана с выходом из строя агрегируемой машины, эти отказы связаны с большими знакопеременными нагрузками на рабочие органы, производственными дефектами орудий, а также из-за их конструктивного несовершенства. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на создание методики определения оптимальной обеспеченности ремонтно-технического воздействия на агрегаты технологических комплексов с учетом надежности базовых и агрегируемых машин.

В результате исследований была разработана математическая модель в классе систем массового обслуживания (СМО) для определения оптимальной обеспеченности ремонтно-технического воздействия на агрегаты технологических комплексов, учитывая показатели надежности базовой (трактор) и агрегируемой (орудие) машин.

В качестве основного критерия эффективности использования технологических комплексов был принят критерий — минимум затрат на эксплуатацию агрегатов с учетом потерь от простоя базовых и агрегируемых машин по техническим причинам в расчете на 1 га/ч культуртехнических работ.

Целевая функция имеет такой вид:

$$Y_{(a)} = \frac{C_1 M_{0(a)} + C_2 (M - M_{0(a)}) + C_3 S}{MW_o (1 - K_{na(a)})} \rightarrow \min, (1)$$

где  $Y_{(a)}$  — минимум затрат на эксплуатацию агрегатов, р./га;  $C_1$  — потери от простоя агрегата, р./ч;  $C_2$  — прямые затраты на эксплуатацию одного агрегата, р./ч;

$C_3$  — затраты на содержание постов РТО, р./ч.;  $M_{o(a)}$  — среднее количество неработоспособных агрегатов, шт.;  $(M - M_{o(a)})$  — среднее количество работоспособных агрегатов, шт.;  $S$  — количество передвижных ремонтных бригад в системе, шт.;  $K_{na(a)}$  — коэффициент простоя агрегатов;  $W_o$  — среднечасовая эксплуатационная производительность одного технологического комплекса, га/ч;  $M$  — общее количество агрегатов.

Величины  $M_{o(a)}$ ,  $(M - M_{o(a)})$ ,  $K_{na(a)}$  являются случайными величинами и определяются с использованием методов теории массового обслуживания [2].

И базовые, и агрегатируемые машины технологического комплекса (источник заявок на обслуживание) в процессе эксплуатации создают потоки случайных технических отказов с интенсивностью соответственно  $\lambda_{tr}$ ,  $\lambda_{or}$ , которые определяются в общем виде из следующего выражения:

$$\lambda = \frac{1}{T_{cp}}, \quad (2)$$

где  $T_{cp}$  — средняя наработка между техническими отказами как для базовых, так и для агрегатируемых машин, ч.

Устранение последствий технических отказов машин в процессе эксплуатации обеспечивается постами ремонтно-технического обслуживания (прибор обслуживания). При этом каждый из приборов может обслуживать одновременно только одну заявку с интенсивностью  $\mu$ , определяемой из выражения [3]:

$$\mu = \frac{1}{t_3 + t_n + \left(\frac{L_p}{v_p}\right) + t_y}, \quad (3)$$

где  $t_3$  — время от возникновения заявки до поступления заявки на ремонтно-обслуживающие предприятие, ч;  $t_n$  — время подготовки бригады к выезду, ч;  $L_p$  — расстояние переезда, км;  $v_p$  — средняя скорость передвижения ремонтной бригады, км/ч;  $t_y$  — среднее время восстановления работоспособного состояния машины (трактор, орудие), ч.

Предполагается, что интенсивность устранения отказов постом ремонтно-технического обслуживания (РТО) для агрегатов определяется из следующего выражения:

$$\mu_a = \frac{\mu_{tr}\lambda_{tr} + \mu_{or}\lambda_{or}}{\lambda_a}, \quad (4)$$

где  $\mu_{tr}$ ,  $\mu_{or}$  — интенсивность устранения отказов для базовых и агрегатируемых машин;  $\lambda_{tr}$ ,  $\lambda_{or}$ ,  $\lambda_a$  — интенсивность технических отказов базовых, агрегатируемых машин и агрегатов.

Анализ потоков технических отказов машин для рассматриваемых культуртехнических комплексов показал, что он обладает свойствами простейшего (пуассоновского) потока.

Над пуассоновскими потоками можно определить операцию суперпозиции потоков, она состоит в том, что поступающие  $m$  независимых пуассоновских потоков интенсивности  $\lambda_k$ ,  $k = \overline{1, m}$  объединяются в один поток.

В теории массового обслуживания доказано, что имеет место следующая теорема: суперпозиция  $k$  независимых пуассоновских потоков интенсивностей  $\lambda_k$ ,  $k = \overline{1, m}$ , снова является пуассоновским

потоком интенсивности  $\lambda = \sum_{k=1}^m \lambda_k$ .

В рассматриваемом случае имеет место два пуассоновских потока с интенсивностями:

$\lambda_{tr}$  — интенсивность отказа базовых машин;  
 $\lambda_{or}$  — интенсивность отказа агрегатируемых машин.

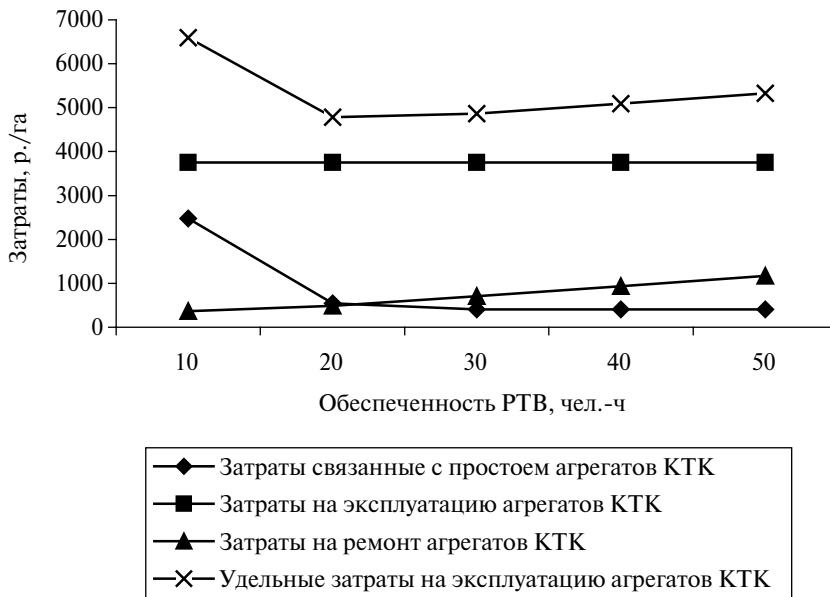
Эти потоки независимы, а, следовательно, из приведенной теоремы можно ввести в рассмотрение интенсивность отказа агрегата  $\lambda_a$ , которая в данном случае такова:  $\lambda_a = \lambda_{tr} + \lambda_{or}$ , поэтому при моделировании работы агрегата можно использовать модели СМО с интенсивностью отказов  $\lambda_a$ .

С точки зрения принципов системного подхода взаимодействие элементов (машина, пост РТО, очередь на обслуживание (накопитель)) можно представить как систему эксплуатационного обеспечения безотказной работы агрегатов технологических комплексов.

Таким образом, модель системы эксплуатационного обеспечения безотказной работы агрегатов технологических комплексов была представлена как система массового обслуживания (СМО), соответствующая, по классификации Кэнделла — СМО М/М/1 (М/М/м), обладающая следующими характерными особенностями: вероятностный процесс функционирования данной системы соответствует частному случаю марковского процесса — процессу размножения и гибели; данная система относится к замкнутым СМО без потерь с дисциплиной обслуживания заявок в порядке поступления; является многоканальной с ограниченным количеством постов обслуживания; управление производительностью системы осуществляется варьированием количеством обслуживающих приборов и источников заявок на обслуживание в предположении, что число обслуживающих приборов меньше числа источников заявок [4].

Проведенный математический анализ показал, что исследуемый вероятностный процесс обладает стационарным состоянием. В связи с этим составленная система дифференциальных уравнений, описывающих динамику состояний исследуемой СМО, была заменена системой разностных уравнений, решая которую, предварительно дополнив

ее условием нормировки ( $\sum_{n=0}^m P_n = 1$ ), получили



Изменение удельных эксплуатационных затрат и их составляющих для агрегатов культуртехнических комплексов от обеспеченности ремонтно-технического воздействия

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^m n P_n, \bar{v} = \sum_{n=1}^{m-s} n P_s + n, \quad (5)$$

$$\bar{k} = \bar{v} - (\bar{n} - s), Kna = \frac{\bar{n}}{m},$$

где  $\bar{v}$  — среднее число машин в накопителе;  $\bar{k}$  — среднее число простаивающих постов РТО в ожидании заявки на обслуживание.

Оптимизация обслуживающей системы заключается в том, что всем ее элементам необходимо придать такое количественное соотношение, чтобы в конкретных условиях обеспечивалось выполнение планируемых объемов работ при минимуме финансовых и трудовых затрат, т. е. обеспечить минимум затрат на эксплуатацию агрегатов.

Проведенные исследования позволили определить динамику изменений удельных затрат на эксплуатацию агрегатов культуртехнических комплексов и их составляющих в зависимости от обеспеченности ремонтно-технического воздействия (рисунок).

Из графиков (см. рисунок) видно, что удельные эксплуатационные затраты в зависимости от обеспеченности РТВ изменяются по экстремальной кривой и имеют свой оптимум соответствующей определенной обеспеченности РТВ.

Анализ динамики изменения составляющих удельных эксплуатационных затрат показывает, что рост затрат на содержание средств ремонтно-технического воздействия, связанный с привлечением дополнительных постов ремонтно-технического обслуживания (РТО), приводит к снижению потерь от простоя агрегатов КТК по техническим

причинам. Из графиков (см. рисунок) видно, что при минимальной обеспеченности РТВ удельные затраты на эксплуатацию имеют самое большое значение, это связано с большими затратами от простоев агрегатов.

Минимальное значение удельных эксплуатационных затрат достигается при определенном значении обеспеченности РТВ, в этой области затраты на дополнительные посты РТО компенсируются снижением удельного веса потерь от простоя агрегатов КТК по техническим причинам в УЭЗ.

Дальнейшее увеличение обеспеченности РТВ приведет к увеличению удельных эксплуатационных затрат по причине непропорционального снижения затрат, связанных с простоем по техническим причинам, и роста затрат на содержание дополнительных постов РТО.

## Выводы

В процессе исследований установлено, что большая часть отказов агрегатов КТК связана с отказами агрегируемой машины (орудия), они составляют 70 % от общего числа отказов.

Разработанная методика определения оптимальной обеспеченности ремонтно-технического воздействия на агрегаты позволит снизить суммарные затраты на эксплуатацию агрегатов КТК за счет сокращения простоев базовых и агрегируемых машин по техническим причинам, тем самым даст возможность повысить эффективность эксплуатации агрегатов, задействованных в технологическом комплексе.

## Список литературы

1. Гуляев, Ю.В. Безотходные технологии и технические средства для освоения закустаренных и залесенных сельскохозяйственных земель: дис. ... доктора техн. наук / Ю.В. Гуляев. — М., 2000. — 256 с.
2. Венецкий, И.Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе: справочник. — 3-е изд., перераб. и доп. / И.Г. Венецкий, В.И. Венецкая. — М.: Статистика, 1989. — 448 с.
3. Привалов, П.В. Теоретические основы разработки методики технического сервиса сельскохозяйственных машин / П.В. Привалов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2002. — № 11. — С. 4–5.
4. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. — Изд. 6-е, стер. / В.Е. Гмурман. — М.: Высшая школа, 1997. — 480 с.